

УДК 621.919

С.Є. Шейкін, д-р техн. наук, С.Ф. Студенець,
В.В. Мельниченко, Я.В. Мельниченко, Київ, Україна

ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ КАРДАННИХ ВАЛІВ З ЗАСТОСУВАННЯМ ГРАДІЄНТНОГО ДЕФОРМАЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ

В статті описано промислову технологію відновлення шлицьових вилок головних карданних валів дизель-поїздів Д-1. Використання такого ресурсозберігаючого метода холодного пластичного деформування, як редукування на оправці дозволило підвищити експлуатаційний ресурс шлицьового з'єднання карданних валів за рахунок градієнтного деформаційного зміцнення шлицьових втулок в процесі їх формоутворення.

Ключові слова: відновлення шлицьових вилок, холодне пластичне деформування

В статье описана промышленная технология восстановления шлицевых вилок главных карданных валов дизель-поездов Д-1. Использование такого ресурсосберегающего метода холодного пластического деформирования, как редуцирование на оправке позволило повысить эксплуатационный ресурс шлицевого соединения карданных валов за счет градиентного деформационного упрочнения шлицевых втулок в процессе их формообразования.

Ключевые слова: восстановление шлицевых вилок, холодное пластическое деформирование

The industrial restoration technology for splined forks of major driveshafts of diesel trains D-1 is described in the paper. Using such resource-saving method of cold plastic deformation as reduction in fixture let us to increase the in-use life of splined joint of driveshafts owing to gradient strain hardening of splined bushings during their formation.

Keywords: restoration of splined forks, strain hardening

На даний час існує закономірна тенденція заміни процесу різання на процес холодного пластичного деформування (ХПД) у формоутворенні поверхонь деталей машин. Головними перевагами ХПД є підвищення продуктивності обробки, усунення або значне скорочення відходів металу, створення сприятливого поєднання механічних властивостей одержуваних виробів, що дозволяє в ряді випадків забезпечити їх високу працездатність без хіміко-термічної обробки. Практичне використання методів ХПД в машинобудівні показало значні їхні переваги в порівнянні з іншими при обробці як наскрізних [1-3] так і глухих отворів [4]. Результати, наведені в [1] показують, що відбувається значне зменшення зносу пластично деформованих поверхонь в процесі прироблення рухомих з'єднань в порівнянні з поверхнями, отриманими в процесах обробки різанням. Особливу актуальність набуло використання методів ХПД для виготовлення внутрішніх порожнин складної конфігурації. Прикладами таких деталей є зубчасті муфти, колеса з внутрішнім зачепленням, шлицьові втулки рульових

колонок, карданних валів автомобілів і залізничних поїздів, деталі сервоуправління гідро трансмісій сільськогосподарської техніки тощо. У країнах з розвиненим машинобудуванням щорічна потреба в таких видах деталей складає десятки та сотні тисяч штук на рік.

На сьогодні створено ряд методів ХПД для формування таких профілів. Основними з них є радіальне кування, ударне накочування, штампування, накочування увігнутими сегментами та редукування із застосуванням волок. Дані методи пов'язані з зменшенням зовнішнього діаметра заготовок, в процесі якого оправка із певним зовнішнім профілем, розташована всередині заготовки, формує дзеркальний по відношенню до власного, внутрішній профіль деталі. Вони можуть бути використані для формування складних поздовжніх внутрішніх профілів підвищеної точності в деталях типу втулка при товщині стінки, яка складає 10-50 % від величини діаметра отвору. Вони відрізняються конструкцією інструменту і характером його рухів щодо поверхні, яка деформується [3].

У той же час, метод редукування заготовок через волокни із застосуванням профільної оправки має ряд суттєвих переваг в порівнянні з іншими вищезазначеними. По-перше, для здійснення редукування заготовки через волоку потрібно лише найпростіший прямолінійний рух волокни. По-друге, точність деталей, одержуваних у процесі редукування, практично не залежить від вхідної точності заготовки. По-третє, твердосплавні волокни, які застосовують для обтиску зовнішньої поверхні заготовки, мають високу стійкість і простоту конструкції. По-четверте, в процесі формоутворення деталі відбувається градієнтне деформаційне зміцнення матеріалу, що приводить до підвищення експлуатаційних характеристик виробів. По-п'яте, процес забезпечує значну економію металу [1].

Прогресивним способом отримання втулок з внутрішніми шліцьовими поверхнями є вісесиметричне редукування на рухомій оправці (рис. 1). При використанні даної схеми в процесі обробки відбувається зменшення зовнішнього діаметра трубчастої заготовки з одночасним копіюванням її внутрішньою поверхнею профілю шліцьової оправки.

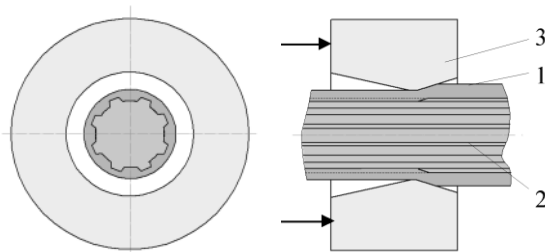


Рисунок 1 – Схема редукування на фасонній оправці

Складність виготовлення профільної оправки (рис. 2) залежить, перш за все, від форми профілю отримуваної внутрішньої поверхні. Технологічна оснастка, як правило, складається з ряду корпусних деталей, пов'язаних між собою точним взаємним розташуванням.

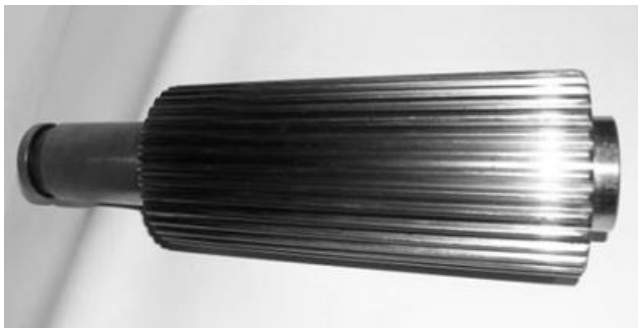


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд шліцьової оправки

На сьогодні на залізницях України експлуатуються дизель-поїзди імпортного виробництва (Угорщина, Румунія, Росія), які залишилися з радянських часів. На кожному дизель-поїзді типу Д-1 встановлено два карданних вала (рис. 3), які періодично зношуються на ділянці шліцьового з'єднання. В Україні ці деталі не виготовляються, а придбання імпортних пов'язано з витратою валюти. Саме тому розробка нових технологій, які б дозволяли відновлювати дані вузли в Україні, є дуже актуальною задачею.



Рисунок 3 – Головні карданні вали дизель-поїзда Д-1

Основною проблемою при вирішенні цієї задачі є труднощі у виготовленні шліцьової втулки. Для формування поверхні внутрішніх шліців у вилках можна застосувати ріжуче протягування, яке має ряд недоліків і обмежень. А саме, складність і висока вартість ріжучих протяжок,

необхідність використання протяжних верстатів, які займають значні виробничі площі.

Однак, вирішити цю задачу можливо застосувавши для виготовлення шліцьових втулок технологію редукування на рухомій фасонній оправці (рис. 1). Заготовку (1) з мінімальним зазором одягають на фасонну оправку (2), профіль якої відповідає профілю отвору шліцьової втулки. Далі проводять редукування інструментом (3). При цьому відбувається подовження деталі і оправка має можливість рухатись разом з оброблюваним металом в напрямку подовження.

Основна перевага використання даного процесу – можливість отримати градієнтне деформаційне зміцнення оброблюваної деталі, що дозволить збільшити її експлуатаційний ресурс. Дана схема найбільш придатна, для формування глибоких внутрішніх профілів, що вимагають значних деформацій заготовки.

Застосування методу редукування на оправці було успішно реалізовано в технологічному процесі відновлення шліцьового з'єднання карданної пари дизель-поїзда Д-1. Був здійснений комплексний підхід до рішення цієї задачі. Відновлювалися обидва елементи шліцьової пари - вилка і вал. При цьому число зубів в з'єднанні зменшили до 34, а діаметр ділильного кола – до 85 мм. Зменшення діаметру з'єднання дозволило видаляти весь профіль зношених зубів і на циліндричній поверхні меншого діаметру нарізати нові евольвентні зуби. При відновленні вилки з'являється можливість вільніше оперувати параметрами шліців і товщиною редукованої втулки для найбільш сприятливого процесу формування зубів.

Основними задачами, які вирішувалися в процесі створення нової технології були:

- розрахунок, розробка та проектування інструменту та оснастки, вибір інструментальних матеріалів;
- експериментальне вивчення впливу технологічних режимів на силові характеристики та характер процесу формоутворення внутрішньої шліцьової поверхні;
- вибір технологічних антифрикційних змащень для зменшення силових навантажень на інструмент та запобігання схоплюванню.

Характеристики відновленого шліцьового з'єднання наведені в таблиці.

Шліцьове евольвентне з'єднання з такими параметрами задовольняє технічним вимогам до карданного валу дизель-поїзда Д-1 (передача потужності $N=750$ к.с. з частотою обертання $n=1250$ об/хв.) та здатне замінити зношене з'єднання 100x2,5x38 ГОСТ6038-80 [5, 6].

В якості матеріалу заготовки застосовували сталь 20Х. Перед редукуванням заготовки відпалювали.

Шліцьові втулки, отримані за розробленою технологією представлені на рис. 4.

Таблиця

Характеристики шліцьового з'єднання 90x2,5x9H/9g ГОСТ6033-80			
№ п/п	Назва	Позначення	Величина
1	Число зубів	z	34
2	Модуль	m	2,5 мм
3	Діаметр ділильного кола	d	85(+0,22) мм
4	Діаметр основного кола	d_b	73,612 мм
5	Номінальний вихідний діаметр з'єднання	D	90 мм
6	Зміщення вихідного контуру	X_m	1,125 мм
7	Кут профілю зуба	α°	30°
8	Ділильний окружний шаг зубів	p	7,854 мм
9	Радіус кривизни перехідної кривої зуба	ρ_f	0,4 мм
10	Діаметр кола впадин зуба втулки	D_f	90,5(+0,35) мм
11	Діаметр кола вершин зуба втулки	D_a	84,5(+0,22) мм
12	Висота зуба втулки	H_{min}	2,5 мм
		H_{max}	2,75 мм
13	Діаметр кола граничних точок зуба втулки	D_l	89,8 мм
14	Номінальна ділильна окружна ширина впадини втулки	l	5,226H

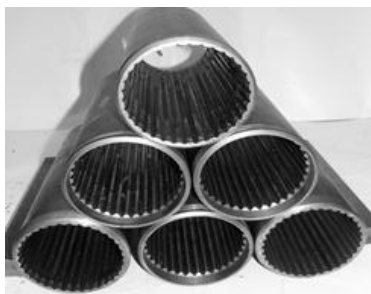


Рисунок 4 – Шліцьові втулки, отримані редукуванням на оправці

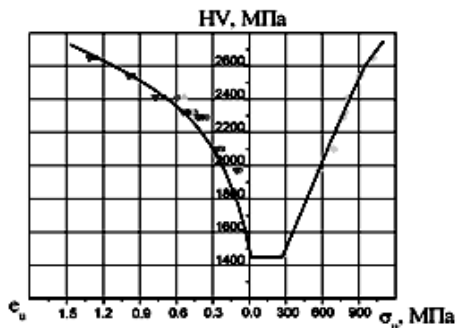


Рисунок 5 – Тарувальний графік сталі 20X

Редукування на шліцьовій оправці є процесом, який характеризується великими контактними напруженнями, які в 3-4 рази більші, ніж при редуванні без оправки.

В результаті проведення експериментальних досліджень впливу технологічних режимів редукування на характер формування внутрішньої шліцьової поверхні та силові параметри процесу було

встановлено, що для отримання повноцінного евольвентного профілю доцільно застосовувати три цикли деформування.

При цьому, оптимальна величина осьової сили редукування по критерію заповнюваності профілю оправки на першому циклі деформації складає $P_{ос}=700$ кН.

На другому – $P_{ос}=640$ кН та $P_{ос}=720$ кН на третьому. Зменшення осьової сили редукування без втрати якості може бути досягнуто шляхом збільшення циклів деформації та перерозподілом натягів на волокна.

В умовах редукування для запобігання схоплювання контактуючих поверхонь необхідно використовувати змащення, які проявляють, насамперед, високі екрануючі властивості, при цьому основне значення має міцність екрануючого шару, а вже потім його антифрикційні властивості. Для зменшення силових навантажень на інструмент та запобігання схоплюванню в процесі редукування ефективним є використання твердих змащень в комплексі з рідкими мастилами. В якості твердих змащень найбільший ефект досягається при використанні алкідно-уретанового лаку у якості зв'язуючого з дрібно дисперсним графітом при співвідношенні до наповнювача рівному 5:1. Для вивчення напружено-деформованого стану внутрішніх шліцевих поверхонь побудовано тарувальні графіки в координатах “твердість – відносна деформація” та “твердість – інтенсивність напруг” для сталі 20 (рис.5).

Для визначення інтенсивності деформації та напружень з заготовок на різних стадіях формування шліцевого профілю виготовляли поперечні шліфи (рис. 6) та досліджували розподіл мікротвердості.

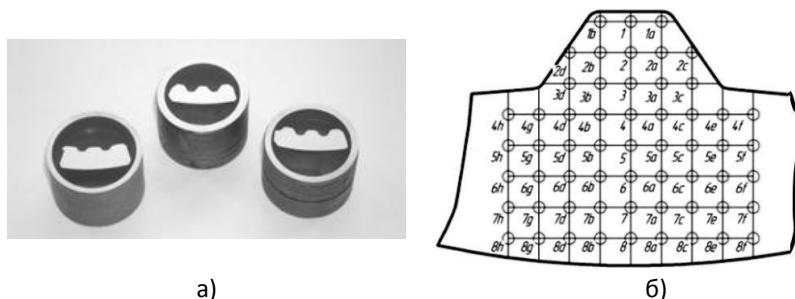


Рисунок 6 – Зразки для дослідження мікротвердості:
а) фото шліфів; б) масиви точок заміру мікротвердості на поперечному шліфі

Результати дослідження мікротвердості дозволяють встановити картину розподілу інтенсивності деформацій та напружень в шліцевому профілі редукованих втулок (рис. 6). Заміри проводились на мікротвердомірі ПМТ-3 з навантаженням 0,49 Н.

Весь діапазон значень мікротвердості, інтенсивності деформацій та напружень розбито на чотири діапазони для волок 1, 2 та 3 (рис. 7).



Рисунок 7 – Ізолінії (ізосклери) твердості HV, інтенсивності напружень σ_n та інтенсивності деформації e_u

1 – HV<1,6 ГПа, σ_n >0,45 ГПа, e_u <0,15

2 – HV=1,6-1,9 ГПа, σ_n =0,45-0,6 ГПа, e_u =0,15-0,4

3 – HV=1,9-2,25 ГПа, σ_n =0,6-0,72 ГПа, e_u =0,4-0,5

З рисунку видно, що мікротвердість після редукування заготовки через волокна 1-3 загалом збільшується. Можна констатувати, що об'єм зон з меншою твердістю поступово зменшується та локалізується в основному біля зовнішньої поверхні, де матеріал плине в бік подовження довжини заготовки. Аналіз експериментальних даних свідчить, що в процесі редукування твердість заготовки підвищується в середньому в 1,3 рази. Найбільш помітно твердість збільшується біля внутрішньої поверхні заготовки – вершин зубів, бокових поверхонь зубів та впадин.

ВИСНОВКИ

1. Створена технологія відновлення та шліцьових вилок карданних валів дизель-поїздів Д-1 забезпечує градієнтне деформаційне зміцнення матеріалу виробу на 35%, що суттєво підвищує експлуатаційний ресурс карданних валів. При цьому точність профілю виробу відповідає вимогам креслень нового карданного валу.

2. Стендові випробування відновлених карданних валів дозволили прогнозувати збільшення ходового експлуатаційного ресурсу в 1,6 рази.

3. Розроблена технологія використовується в умовах ІНМ ім. В.Н. Бакуля НАН України для відновлення карданних валів дизель-потягів для вагоноремонтного підприємства «Жмеринське підприємство «Експрес» м. Жмеринка

4. Вартість відновленого карданного валу нижче імпортного в 1,5 рази.

Список використаних джерел: 1. *О.В. Нахайчук.* Нові технологічні процеси з використанням прогресивних методів пластичного деформування: монографія / *О.В. Нахайчук, О.О. Розенберг, та ін.* – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 158 с. 2. *В.А. Огородников* Механіка процесів холодного формозмінювання з однотипними схемами механізму деформації: монографія / *В.А. Огородников, В.І. Музичук та ін.* – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 179 с. 3. *О.А. Розенберг, Б.П. Траченко* Формообразования шлицевых отверстий в трубных заготовках методом холодного пластического деформирования/ *О.А. Розенберг, Б.П. Траченко* // *Технология и организация производства.* – 1991. – №2. – С. 20-23. 4. *О.А. Розенберг* Деформируемость металла при формировании внутренних шлицевых поверхностей в глухих отверстиях методом холодного пластического деформирования (Сообщение 1) / *О.А. Розенберг, С.Ф. Студенец та ін.* // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії:* 36. наук, праць. – Краматорськ, 2007. – № 1 (7). – С. 117-120. 5. Розрахунок несучої здатності з'єднання з натягом при відновленні шліцевого з'єднання / *В.А. Огородников, О.О. Розенберг та ін.* // *Вісник ВПІ.* – 2002. – № 66. – С. 82-85. 6. *В.А. Огородников* Оценка прочности после восстановления шлицевого соединения вала дизель-поезда / *В.А. Огородников., О.В. Нахайчук* / *Дні науки* – 2005: 36. наук. пр. міжнар. НПК. – Дніпропетровськ: Том 35. Техніка. С. 29-30.

Bibliography (transliterated): 1. *O.V. Nahajchuk.* Novi tehnologichni procesi z vikoristannjam progresivnih metodiv plastichnogo deformuvannja: monografija / *O.V. Nahajchuk, O.O. Rozenberg, ta in.* – Vinnicja: UNIVERSUM-Vinnicja, 2008. – 158 s. 2. *V.A. Ogorodnikov* Mehanika procesiv holodnogo formozminjuvannja z odnotipnimi shemami mehanizmu deformacii: monografija / *V.A. Ogorodnikov, V.I. Muzichuk ta in.* – Vinnicja: UNIVERSUM-Vinnicja, 2007. – 179 s. 3. *O.A. Rozenberg, B.P. Trachenko* Formoobrazovanija shlicevyh otverstij v trubnyh zagotovkah metodom holodnogo plasticheskogo deformirovanija/ *O.A. Rozenberg, B.P. Trachenko* // *Tehnologija i organizacija proizvodstva.* – 1991. – №2. – S. 20-23. 4. *O.A. Rozenberg* Deformiruemost' metalla pri formirovanii vnutrennih shlicevyh poverhnostej v gluhih otverstijah metodom holodnogo plasticheskogo deformirovanija (Soobshhenie 1) / *O.A. Rozenberg, S.F. Studenec ta in.* // *Visnik Donbas'koï derzhavnoï mashinobudivnoï akademii:* 36. nauk, prac'. – Kramators'k, 2007. – № 1 (7). – S. 117-120. 5. *Rozrahnok nesuchoï zdatnosti z'ednannja z natjagom pri vidnovlenni shlic'ovogo z'ednannja* / *V.A. Ogorodnikov, O.O. Rozenberg ta in.* // *Visnik VPI.* – 2002. – № 66. – S. 82-85. 6. *V.A. Ogorodnikov* Ocenka prochnosti posle vosstanovlenija shlicevogo soedinenija vala dizel'-poezda / *V.A. Ogorodnikov., O.V. Nahajchuk* / *Dni nauki* – 2005: 36. nauk. pr. mizhnar. NPK. – Dnipropetrovs'k: Tom 35. Tehnika. S. 29-30.